Zur

Anatomie und Chemie der Ruta graveolens L.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Von

Wilhelm Brandt

aus Seckenheim (Baden).

Tag der Promotion: 24. März 1915

107

Referenten:

Prof. Dr. **Haberlandt.**

Prof. Dr. **Thoms.**

Emil Ebering, Berlin NW. 7, Mittelstr. 39.

Dem Andenken meines Vaters

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546508_0086

Die Anatomie der Blätter der Ruta graveolens L., die allein zu arzneilichem Gebrauche herangezogen werden, ist bekannt[1]; die wesentlichsten Punkte sind kurz folgende: Die zwei- bis dreifach fiederteiligen, in der Blütenregion dreizähligen Blätter besitzen eine Epidermis, deren Zellen auf der Blattoberseite wenig oder gar nicht, auf der Unterseite stärker buchtige Seitenwände aufweisen. Am Blattrande ist die Epidermis ziemlich derbwandig. Spaltöffnungen sind auf der Oberseite wenig, und zwar meist im basalen Teil jedes Blattabschnittes in der Nähe des Hauptnerven, auf der Unterseite überall zahlreich vorhanden. Die Schließzellen sind etwas unter das Niveau der übrigen Epidermiszellen versenkt. Die Cuticula ist deutlich, Haare fehlen.

Das Mesophyll besteht aus zwei Palisadenschichten und dem Schwammparenchym, dessen an die untere Epidermis grenzende Schicht palisadenartig ausgebildet ist. An den Blatträndern geht diese Schicht in die Palisadenschicht der Blattoberseite über. Im Mesophyll finden sich reichlich rundliche Zellen mit großen Oxalatdrusen. Die Gefäßbündel sind mit einer einschichtigen Scheide im Sinne der Bündel gestreckter Parenchymzellen umgeben. Stärkere Bündel verdanken ihre Größe der Tätigkeit eines Cambiums. Besonderes Interesse beanspruchen die im Mesophyll zahlreich vorhandenen Oeldrüsen. Im fertig ausgebildeten Zustande sind es rundliche oder annähernd birnförmige, von einer Schicht flacher, derbwandiger Zellen umgebene Drüsen, die bis an die Epidermis der Ober- oder Unterseite heranreichen. Inmitten der Drüse liegt ein großer Tropfen

1. Z. B.: Strasburger, Kleines botanisches Praktikum. 3. Aufl. 1897, S. 104.

ätherischen Oeles, der von einer oder mehreren Schichten mehr oder minder desorganisierter Zellen umgeben ist. Die die Drüsen bedeckenden Epidermiszellen sind etwas unter das Niveau der übrigen versenkt, flacher als diese, und fallen auch — meist 4 an der Zahl — in Flächenansicht durch Form und Anordnung auf.

Die Blattstiele besitzen eine mit starker Cuticula versehene derbe Epidermis, unter welcher eine kollenchymatische Zellschicht liegt. Auf diese folgen mehrere Schichten reichlich Chlorophyllkörner enthaltender Zellen, die etwas radial gestreckt sind. Sie gehen in isodiametrische, weniger Chlorophyll enthaltende, dann in nicht grüne, nach dem Zentrum zu immer

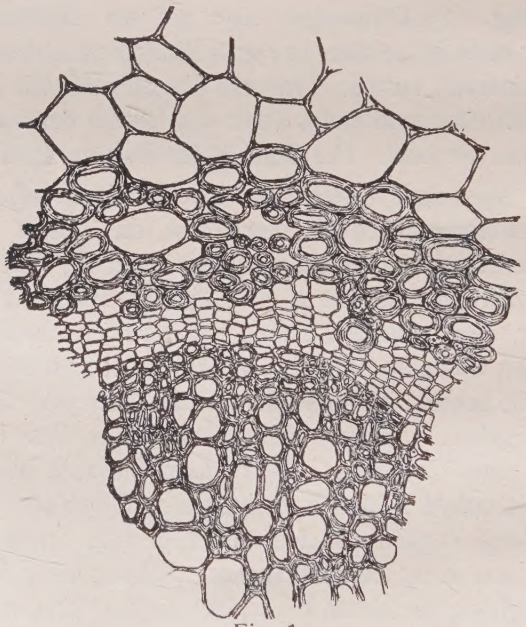

Fig. 1.

Blattstielquerschnitt.
Teil eines Gefäßbündels mit anliegendem Sklerenchym und Grundgewebe.
210 : 1.

größer werdende Zellen über. In diesem Gewebe liegen die Gefäßbündel. Die durch Cambiumtätigkeit vergrößerten Bündel ausgewachsener Blattstiele sind auf der Außenseite, d. h. am Leptom, durch Beläge mit Fasern geschützt. Diese verholzten Fasern haben ziemlich großes Lumen und wenig schräg gestellte Querwände. Zahlreich sind auch an den Blattstielen Spaltöffnungen und Oeldrüsen von im wesentlichen ähnlichem Bau, wie an der Blattspreite . Ueber den Atemhöhlen der Spaltöffnungen und den Drüsen fehlt die Kollenchymschicht unter der Epidermis.

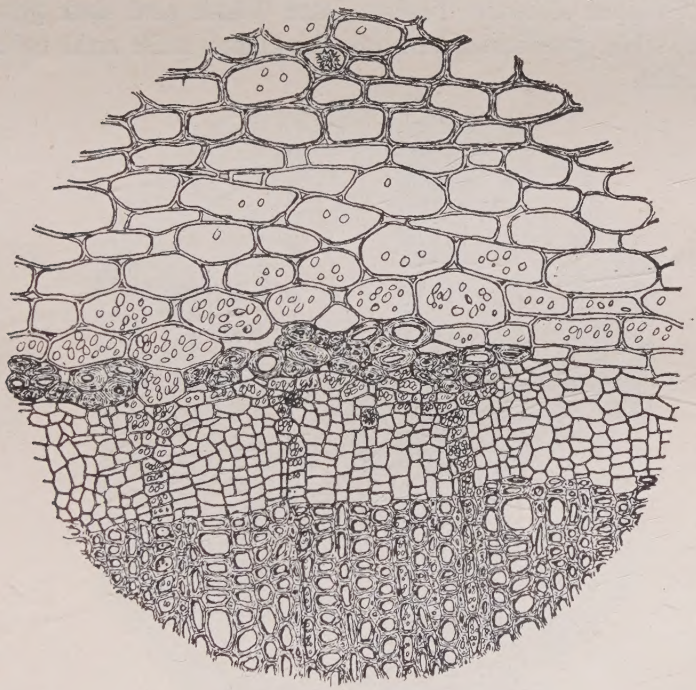

Fig. 2.

Stengelquerschnitt.

Großzellige, zum Teil dickwandige primäre Rinde, Sklerenchym, sekundäre Rinde, Holz, Markstrahlen. Zellinhalt: Stärke und Drusen von Calciumoxalat.

210 : 1.

Die Stengel der Raute sind ebenfalls von einer kräftigen Epidermis mit derber Cuticula bedeckt. Auch sie besitzen die unter der Epidermis liegende Kollenchymschicht, an welche sich Chlorophyll führende Schichten anschließen. Die Hauptmenge der Zellen der primären Rinde führt wenig Chlorophyll und bildet ein derbes, von zahllosen kleinen und größeren Interzellularen durchzogenes Gewebe, dessen Elemente etwas tangential gestreckt sind. Hier und da sieht man Calciumoxalat in Drusen. An der Grenze der primären und sekundären Rinde verläuft ein nicht vollständig geschlossener Ring in größeren oder kleineren Gruppen stehender Fasern. Ihre Wände sind stark glänzend, schön geschichtet, verholzt, ihr Lumen meist nicht unbeträchtlich.

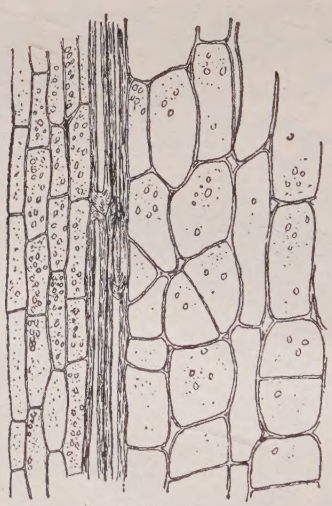

Fig. 3.

Radialer Längsschnitt des Stengels.
Innere Schichten der primären Rinde (rechts), Fasern, äußere Schichten der sekundären Rinde.
210 : 1.

Schon frühzeitig kommt es im Stengel zur Ausbildung des

Cambiumringes. Die vom Cambium gebildete sekundäre Rinde ist ziemlich schmal und enthält Siebröhren, Geleitzellen, Cambiform, Markstrahlenparenchym und Kristallzellen, die Oxalat in Drusen enthalten. Die Rindenzellen führen spärlich kleinkörnige Stärke, die Markstrahlen etwas mehr.

Erheblich größer ist der Zuwachs an sekundärem Holz. Es wird gebildet aus Gefäßen, Tracheiden, Fasern, Holzparenchym und Markstrahlen. Bei den Tracheiden kommen Perforationen der sehr schräg gestellten Querwände vor. Die Markstrahlen sind fast stets einreihig und wie der tangentiale Längsschnitt lehrt, 7 und mehr Zellen hoch.

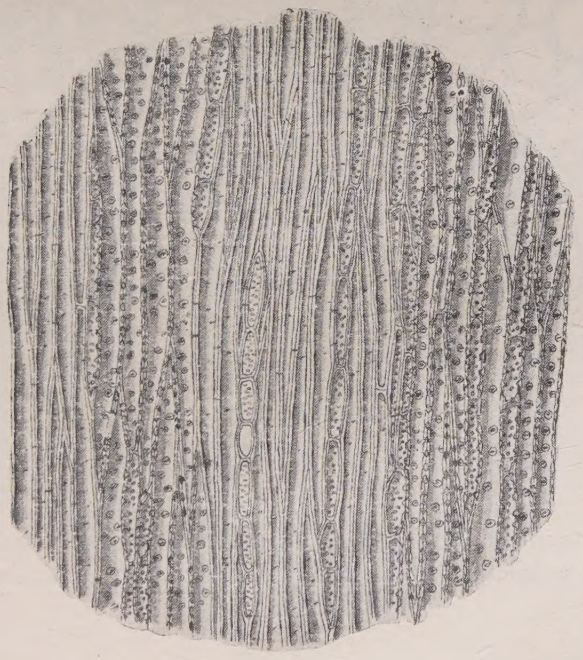

Fig. 4.

Tangentialer Längsschnitt durch das sekundäre Holz des Stengels. 210 : 1.

Innerhalb des sekundären Holzes liegt das primäre Hadrom, an den z. T. recht großen Spiralgefäßen, auf dem Querschnitt an der geringeren Wandverdickung seiner Elemente kenntlich. Es grenzt an das gegen das Zentrum lockerer und großzelliger werdende Markgewebe, welches im Inneren älterer Stengel häufig ganz geschwunden ist.

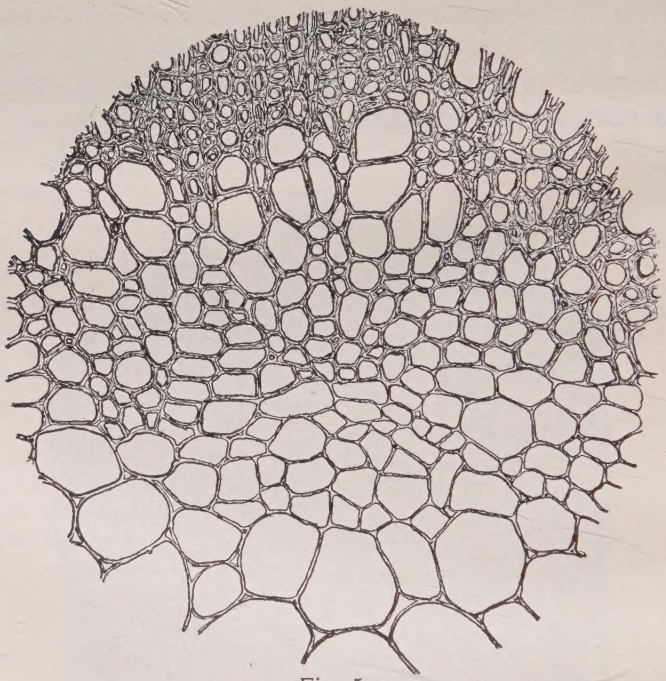

Fig. 5.
Querschnitt durch einen älteren fruchttragenden Stengel. Außen sekundäres Holz, darauf primäres Holz, zu innerst Mark. 210 : 1.

Alle Elemente der Stengel sind im Sinne des Stengels mehr oder minder gestreckt, und so weisen auch die in der Stengelrinde liegenden Oeldrüsen eine längliche Gestalt auf. Ihre Kon-

struktion ist jedoch dieselbe, wie oben für die Blattstiele beschrieben.

Die junge Wurzel der Ruta graveolens besitzt eine mit Wurzelhaaren besetzte Epidermis, eine etwa drei Zellschichten dicke Rinde, eine typische Endodermis; die Zellen der Rinde führen Stärke. Schon in recht jungen Stadien sind einige derselben zu großen Idioblasten mit dünner, gelblicher, unverholzter Membran herangewachsen. Ihr Inhalt besteht aus gelben, harzig-öligen Massen in mehr oder weniger großen, dicht beieinander liegenden Tropfen, die sich in konzentriertem Alkohol lösen.

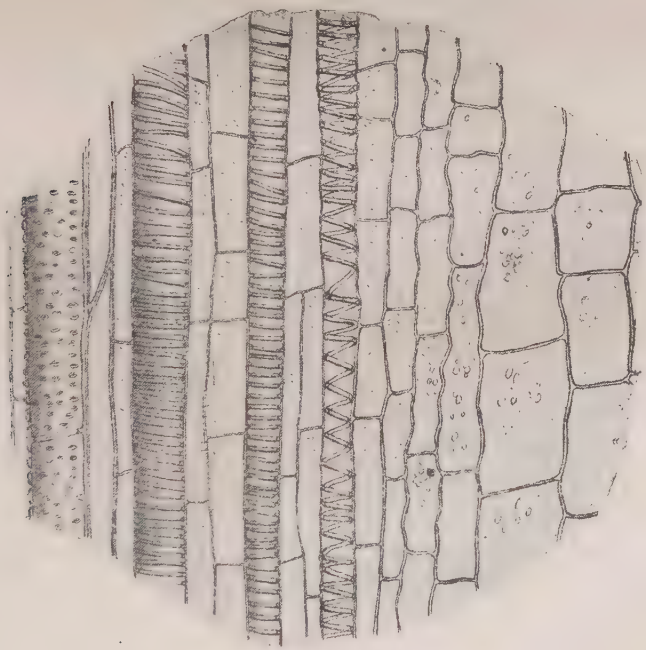

Fig. 6.
Radialer Längsschnitt durch den Stengel.
Primäre Gefäße und Anfänge des Marks.
210 : 1.

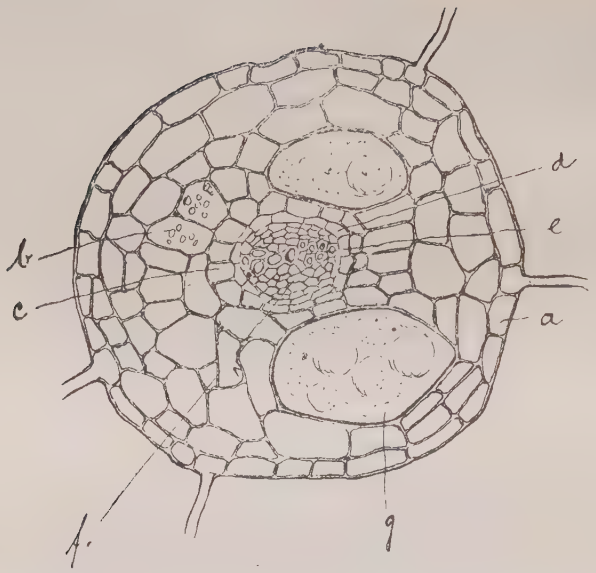

Fig. 7.
Querschnitt einer ganz jungen Wurzel.

a Epidermis mit Wurzelhaaren;
b Rindenparenchym mit Stärke;
c Endodermis;
d Perizykel;
e Hadrom;
f Leptom;
g Idioblasten mit gelbem Inhalt und unverholzter Membran.
320 : 1.

Das Gefäßbündel der Wurzel ist diarch angelegt. Es besitzt einen Perizykel, und je zwei Gruppen von Hadrom- und Leptomelementen.

Bei beginnendem Dickenwachstum bildet sich ein Cambium an der Innenseite der Leptomstränge aus. Dadurch rundet sich der Querschnitt des Hadromteiles mehr und mehr ab, während die Leptomteile nach außen gedrängt werden. Die Endodermis obliteriert. Die Zellen der primären Rinde folgen eine zeitlang

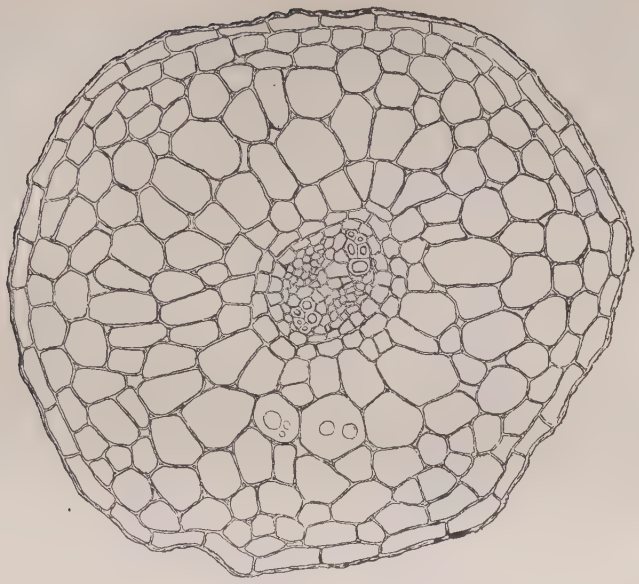

Fig. 8.

Querschnitt einer jungen Nebenwurzel.

Diarches Gefäßbündel. Endodermis, Pericykel. Im Rindenparenchym öliger Inhalt. Wenig Stärke.

210 : 1.

dem Wachstum des Gefäßbündels, ihre anfänglich radiale Streckung geht allmählich in eine tangentiale über. Schließlich reißt die Rinde aber vollständig auf und geht verloren, so daß an ausgewachsenen Wurzeln nur sekundäre Rinde vorhanden ist. Auch diese enthält wieder die schon oben erwähnten, zum Teil recht großen, zum Teil nicht besonders vergrößerten Zellen mit gelbem, ölig-harzigem Inhalt. In jüngeren Rindenpartien bemerkt man Zellen mit reichlichem protoplasmatischem Inhalt, in welchem viele große oder kleine ölige Tropfen eingebettet sind. Man darf wohl schließen, daß aus ihnen die Zellen mit dem gelben, öligen Inhalt hervorgehen. Oxalat kommt auch in der Wurzel nur in Drusen vor. Im Parenchym älterer Wurzel-

Fig. 9 a.

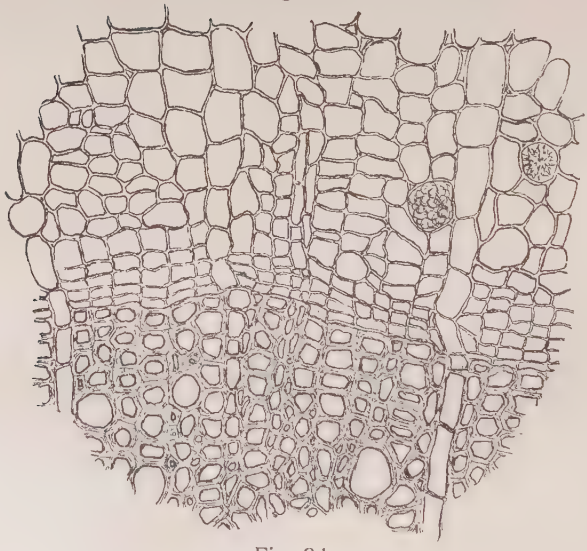

Fig. 9 b.

Querschnitt durch eine ausgewachsene Wurzel.

a Mittlere Teile der Rinde mit Fasern.

b Cambialpartie und Anfänge des Holzes, sekundäre Markstrahlen.

210 : 1.

rinden verstreut liegen einzeln oder in kleinen Gruppen sehr stark verdickte, verholzte, nicht allzu lange Fasern mit reichlicher Tüpfelung. Das Holz älterer Wurzeln besteht aus denselben Elementen, wie das Holz der Stengel, auch sekundäre Markstrahlen finden sich reichlich.

Fig. 10 Fig. 11

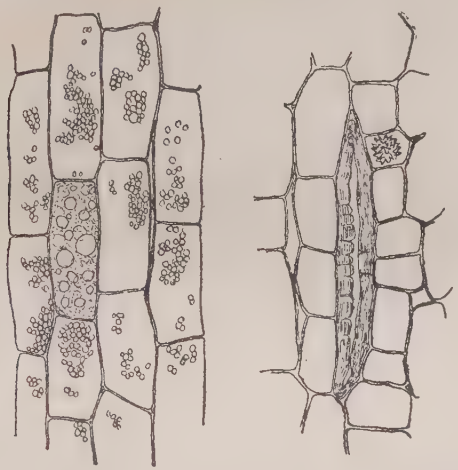

Fig. 10.
Tangentialer Längsschnitt durch die Rinde einer jungen Nebenwurzel.
Eine Zelle mit gelben öligen Massen, die übrigen mit Stärke.
210 : 1.

Fig. 11.
Radialschnitt durch die Rinde einer mittelalten Wurzel.
Eine Faser.
210 : 1.

Besonderes Interesse haben seit langem die Oeldrüsen der Rutaceen erweckt, sowohl hinsichtlich ihrer Entstehung, wie hinsichtlich der Bildung des ätherischen Oeles in ihnen. Dem ausführlichen Literaturverzeichnis bei Tschirch[2] ist zu entnehmen, daß nach dem Vorgange von Rauter, Martinet und Chatin sowohl de Bary wie Sachs die Drüsen der

2. Tschirch, Harze und Harzbehälter. 2. Aufl. S. 1102.

Rutaceen als lysigen ansprachen, und daß einige Jahre später Blenk und Kienast die lysigene Entstehung der Oeldrüsen speziell bei Ruta bestätigten. Van Tieghem und seine Schülerin Leblois leugneten später die lysigene Genese der Rutaceendrüsen und Haberlandt war es, der zuerst mit Bestimmtheit aussprach, daß speziell bei Ruta die Oeldrüsen schizogen angelegt werden. Die Erweiterung des Oelraumes erfolgt dann aber lysigen, so daß man mit Tschirch von schizolysigenen Drüsen sprechen kann. In Engler-Prantls natürlichen Pflanzenfamilien sind die Drüsen der Rutaceen allerdings als lysigen bezeichnet, in der siebenten Auflage des Syllabus der Pflanzenfamilien von Engler findet sich bei der Charakterisierung der Rutaceen aber die Notiz: „Schizolysigene (oder auch lysigene?) Oeldrüsen".

Besteht somit bezüglich der ersten Anlage der Drüsen fast allgemeine Uebereinstimmung, so gehen die Ansichten betreffs des eigentlichen Vorganges und des Ortes der Oelbildung auseinander.

Haberlandt[3] z. B. schreibt: „Bei den Rutaceen werden die Drüsenräume durch frühzeitige Auflösung der Sekretzellen gebildet, nachdem sich im Inhalt derselben Sekret gebildet hat. Die Zellwände verschwinden, und die Sekrettröpfchen fließen allmählich zu größeren Massen zusammen. An den Wandungen solcher lysigener Drüsenräume lassen sich im fertigen Zustande höchstens noch Reste von aufgelösten Sekretzellen (unresorbierte Wandungsteile) nachweisen. Es ist übrigens hervorzuheben, daß in manchen Fällen der Drüsenraum schizogen angelegt und später auf lysigene Art noch erweitert wird. Eine solche Entstehung des Drüsenraumes ist zuerst von mir, und zwar im Laubblatt von Ruta graveolens, beobachtet worden.

... Mag übrigens die Entstehung des Drüsenraumes auf schizogenem oder lysigenem Wege vor sich gehen, in jedem

---

3. Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie. 3. Aufl. S. 454.

Falle bewirkt das Gesamtwachstum des Organes noch eine ansehnliche Erweiterung des Raumes."

Diesem Texte gibt Haberlandt eine Abbildung bei, die eine junge Drüse im Blatte von Ruta graveolens darstellt; die mit körnigem Inhalt und großen Kernen versehenen Sekretzellen sind teils von der Drüsenwand, teils unter sich durch beträchtliche Interzellularen getrennt.

Haberlandt geht dann weiterhin[4] kurz auf die Kontroverse bezüglich des Ortes der Oelbildung ein: „Der Inhalt der Sekretzellen besteht zunächst aus körnigem, farblosem Plasma mit oftmals sehr großem Zellkern. ... Während verschiedene Forscher annehmen, daß das Sekret (ätherisches Oel oder Harz) im Innern der Drüsenzellen gebildet wird und dann die Zellwände passiert, vertritt Tschirch die Ansicht, daß das Sekret erst in der Zellwand entsteht, und zwar in einer schleimigen Schicht derselben, die er als resinogene Schicht bezeichnet. Das Plasma der Drüsenzellen soll stets sekretfrei sein und bloß die resinogenen Substanzen liefern."

Eine bestimmte Entscheidung der Frage gibt Haberlandt nicht, man darf aber wohl annehmen, daß er sich der ersteren Anschauung anschließt, wenigstens für das schizogene Stadium der Drüsen, zumal er die von Tschirch beschriebenen Schleimbeläge der Membranen der Sekretzellen nicht abbildet.

Tschirch[5] schildert den Vorgang der Oelbildung folgendermaßen:

„... durch Teilung entsteht ... eine kleine, von dem umgebenden Gewebe gut unterschiedene Zellgruppe, in deren Mitte ein kleiner Interzellularraum sich bildet; die sehr inhaltreichen, aber sekretfreien, sezernierenden Zellen bilden nun gegen den Interzellularraum kleine Kappen (wie es scheint Schleimmembranen), und in diesen entsteht das Sekret, wie man sich durch

---

4. l. c. S. 455.
5. Tschirch, Harze und Harzbehälter. 2. Aufl. S. 1138.

Einwirkenlassen von Osmiumsäure auf nicht zu dünne Schnitte überzeugen kann. Nachdem das Sekret gebildet, gehen allmählich die sämtlichen Zellen des ursprünglich vorgebildeten Zellkomplexes zugrunde, die an den Sekrettropfen oder Sekretschaum grenzenden vollkommen, die gegen den Rand der Tasche liegenden oft unvollkommen. Bisweilen obliterieren letztere nur."

Auch bei Dictamnus albus sah Tschirch den kleinen Interzellularkanal und die Schleimmembranen und Schleimkappen der ihn begrenzenden Sezernierungszellen, in welchen sich die ersten Oeltröpfchen bilden. Beim Zugrundegehen des Kanalgewebes bleiben die Protoplasten der zugrunde gehenden Zellen oft lange erhalten.

Sehr genau beschreibt Tschirch die betreffenden Vorgänge bei Citrus. Es entsteht hier ebenfalls ein kleiner Interzellularraum, und die ihn begrenzenden, stark quellbaren Wände der sezernierenden Zellen bilden Schleimkappen aus, die zu einem Schleimbelag heranwachsen; in diesem erfolgt die Oelbildung. Dann gehen die Epithelzellen und weitere umgebende Zellen zugrunde. „Es scheint dies aber nicht ganz regellos zu geschehen", schreibt er, „vielmehr habe ich den Eindruck erhalten, daß die zugrunde gehenden Zellen zunächst den Schleimbelag der resinogenen Schicht vermehren. Wenigstens findet man in einem jungen Stadium der Entwicklung rings um den Hohlraum einen quellbaren, durch Alkohol kontrahierbaren Schleimring, in dessen Masse noch Membranfetzen sichtbar sind."

Zusammenfassend bemerkt Tschirch: „Diese Kappen sind nichts anderes als eine lokalisierte resinogene Schicht. Es folgen demnach sogar die schizolysigenen Taschen der Rutaceen dem allgemeinen Gesetz, daß bei schizogener Anlage des Behälters die Sekretbildung in einer zur Membran der sezernierenden Zellen zu rechnenden resinogenen Schicht erfolgt. Die Auflösung der Membranen ist eine sekundäre Erscheinung, die mit der Sekretbildung nichts zu tun hat."

Auch wenn man die Richtigkeit dieser Folgerungen für

das schizogene Stadium voraussetzt, bleibt doch die Tatsache bestehen, daß die in diesem Stadium in der Drüse erzeugte Oelmenge sehr klein ist gegenüber den Mengen, welche bei der lysigenen Erweiterung und bei dem Wachstum der Drüse noch gebildet werden. Für das lysigene Stadium hat Tschirch nun zwar bei Citrus gezeigt, daß die „resinogene Schicht", die Schleimmasse, eine Vermehrung erfährt. Die hinzukommenden Schleimmassen gehen aber nicht mehr aus Membranen, sondern überwiegend aus dem Plasmaleib der schwindenden Drüsenzellen hervor, da in ihnen noch Membranfetzen sichtbar bleiben.

Für Ruta wird von Tschirch die Schleimnatur der den zentralen Oeltropfen im lysigenen Stadium umgebenden Drüsenpartien nicht behauptet. Sie bieten jedoch ein im wesentlichen gleichartiges Bild dar: der Oeltropfen ist umgeben von einer farblosen, mit Körnchen und Kügelchen versehenen Masse, in der Membranfetzen sichtbar sind; nur in dieser Schicht der Drüse sind öfters kleine Oeltröpfchen nachweisbar, so daß man den Eindruck gewinnt, daß in dieser Schicht die eigentliche Oelbildung, die letzten Reaktionen der komplizierten Oelsynthese, vor sich gehen. Man darf deshalb wohl sagen, daß die Frage, ob diese Schichten aus Schleim oder aus sonstwie verändertem Plasma bestehen, für die Beurteilung der Vorgänge der Oelentstehung von sekundärer Bedeutung ist. Wichtig ist, daß sie dem Passieren der entstandenen Oeltröpfchen keinen Widerstand entgegensetzen, wichtiger noch aber die Frage, aus welchen Stoffen und durch welche chemischen Prozesse die Bildung des Oeles erfolgt. Diese Frage aber wird nur durch besondere Studien für jeden Einzelfall ihrer Lösung näher gebracht werden können. Denn je nach der Art der in den ätherischen Oelen enthaltenen Stoffe werden auch die zu ihrer Entstehung führenden Prozesse sehr verschieden sein, auch wenn der Oelerzeugungsapparat, nach Tschirchs Anschauung eben die resinogene Schicht, im Mikroskop sich als überall ziemlich gleichartig angelegt und konstruiert erweisen sollte.

Zu meinen eigenen Beobachtungen habe ich eben aus der Knospe brechende Blätter, junge Blattstiele, seit kurzem befruchtete, lebhaft wachsende Fruchtknoten und Achselknospen verwendet.

Ein Teil des Materials wurde in Paraffin eingebettet und in Schnitte von 5—8 μ Dicke zerlegt. Dabei wurde zwar alles Oel aus den Objekten entfernt. Die Schnitte lehrten aber auf

Fig. 12 Fig. 13 Fig. 14

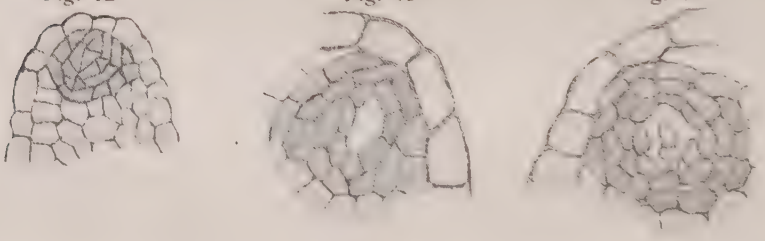

Fig. 12.
Längsschnitt einer Blattanlage mit der Zellgruppe, aus welcher sich eine Oeldrüse entwickelt.
320 : 1.

Fig. 13.
Blattanlage mit dem ersten schizogenen Oelraum einer jungen Drüse.
320 : 1.

Fig. 14.
Schizogener Oelraum einer jungen Oeldrüse aus einer Blattanlage.
320 : 1.

das deutlichste, daß die Drüsen ein schizogenes Stadium durchlaufen. Es wird zuerst eine vom übrigen Gewebe gut unterscheidbare Zellgruppe angelegt, in welcher schizogen Interzellularen entstehen. Die Membranen der den Kanal begrenzenden Stellen sind deutlich sichtbar. Häufig ist der Raum einfach, häufig auch komplizierter gestaltet, der von Haberlandt gegebenen Abbildung entsprechend. Die Zellen selbst

sind inhaltreich und besitzen deutliche Kerne. Schleimkappen und Schleimmembranen konnte ich nicht nachweisen. Jedenfalls waren Schrumpfung in Alkohol und Quellung in Wasser nicht zu sehen, und Färbungen mit Corallinsoda nach Scyczylowicz[6] oder Rutheniumrot nach Mangin[7] nicht zu erzielen. Es ist allerdings dabei in Betracht zu ziehen, daß die langwierige Prozedur des Einbettens ev. vorhandenen Schleim chemisch derart verändert haben kann, daß die charakteristischen Reaktionen ausbleiben.

Der Moment, in dem die lysigene Erweiterung beginnt, ist

Fig. 15

Fig. 17

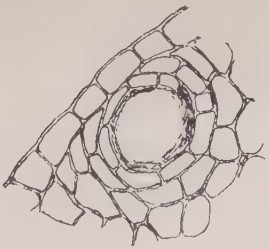

Fig. 16

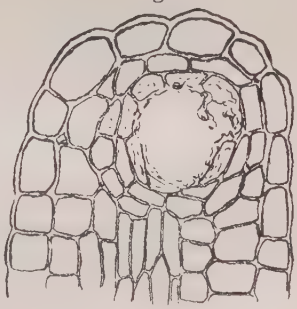

Fig. 15.

Beginn der lysigenen Erweiterung einer jungen Drüse in einer längsgeschnittenen Blattanlage.

320 : 1.

Fig. 16.

Die lysigene Erweiterung der Drüse eines jungen Blattes ist weiter fortgeschritten.

320 : 1.

Fig. 17.

Fertige Oeldrüse einer Blattanlage.

320 : 1.

---

6. Scycylowicz, Bot. Zbl. **12**, 113.

7. Mangin, Compt. rend. 1893, Bd. **116**, S. 653.

deutlich erkennbar. Die Membranen der Epithelzellen werden undeutlich und schwinden, die Protoplasten desorganisieren. Man erkennt nur noch eine farblose, durch zahlreiche Kügelchen oder Körnchen von starker Lichtbrechung granulierte Grundsubstanz. Der Vorgang greift rasch weiter um sich, so daß schon in ganz jungen Blattanlagen viele Drüsen in weit vorgeschrittenem lysigenem Stadium sich befinden. Auch in diesem Stadium konnte Schleim nicht nachgewiesen werden.

Einige Zweige wurden durch monatelanges Lagern an trockener Luft bei gewöhnlicher Temperatur getrocknet, wobei gleichzeitig völlige Verharzung des in ihnen enthaltenen Oels an der Stelle seiner Ablagerung erfolgte. Anwendung von Wärme wurde vermieden, weil befürchtet wurde, daß völlige Austreibung des Wassers zu Spannungen und unerwünschten Zerreißungen des Gewebes führen könnte.

Von diesem Material kamen hauptsächlich Achselknospen zur Untersuchung. Es zeigte sich, daß im schizogenen Stadium das Oel (Harz) sich nur im Interzellularraum, nicht in den Sezernierungszellen findet. Auch im lysigenen Stadium sind die zwar mehr oder weniger deformierten, aber noch unversehrten Zellen stets ölfrei. Ein großer Oeltropfen, oder mehrere große dicht beieinander, liegen im Zentrum der Drüse. In den an den zentralen Tropfen grenzenden Partien der weitgehend desorganisierten Drüsenpartien sieht man dann und wann kleinere Harztröpfchen. Sie sind auch ohne Färbung durch ihre starke Lichtbrechung von anderen Drüsenbestandteilen gut unterschieden. Durch Alkohol allmählich steigender Konzentration werden sie aus den Schnitten herausgelöst. Die Granulationen des Epithels, die man bei oberflächlicher Betrachtung mit Harzpartikelchen vielleicht verwechseln könnte, bleiben bei Alkoholbehandlung erhalten. Färbung mit Osmiumsäure bietet wenig Vorteil, da eine gewisse Zeit zur Färbung des Oeles erforderlich ist und auf die Dauer sich auch andere Zellbestandteile färben. An den Drüsen, in deren Zentrum mehrere große Sekrettropfen nebeneinander liegen, ist zu erkennen, daß die

Tropfen durch Epithelreste und Membranfetzen voneinander getrennt sind. Offenbar sind diese Drüsen aus Anlagen ähnlich Abbildung 14 hervorgegangen.

Auch bei diesen Objekten mißlang der Versuch des Schleimnachweises. Färbungen waren nicht zu erhalten. In Alkohol erfolgte eine geringe Schrumpfung, bei darauf folgender Behandlung mit Wasser eine sehr langsame und geringe Quellung der betreffenden Partien. Diese war aber keineswegs bedeutender und spielte sich nicht schneller ab, als bei jedem Protoplasten gewöhnlichen Parenchyms.

Besonders zahlreiche Schnitte wurden aus frischem Material hergestellt und von diesen vor allem diejenigen beobachtet, bei welchen das Messer die Drüse beiderseitig nur gestreift, aber

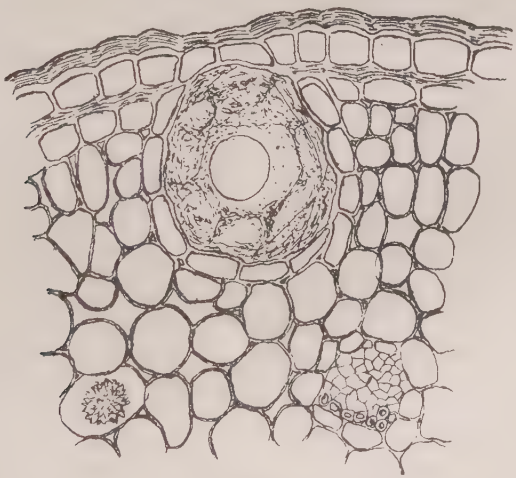

Fig. 18.

Fertig ausgebildete Oeldrüse im Querschnitt eines ganz jungen Blattstieles.

320 : 1.

nicht verletzt hatte. Auch an diesen Präparaten konnte das Sekret in situ beobachtet werden, da es bei entsprechender Auswahl der Objekte möglich war, trotz der ziemlich beträchtlichen

Schnittdicke (bis über 50 μ) noch recht übersichtliche Bilder zu erhalten. Zur Untersuchung kamen Flächen- und Querschnitte durch ganz junge Blätter, Tangential- und Querschnitte durch ganz junge Blattstiele und Längsschnitte durch Achselknospen. Gerade die jungen Blattstiele ermöglichten ein Studium der jugendlichen Stadien des lysigenen Zustandes wegen ihres im Verhältnis zur Blattfläche geringeren Chlorophyllgehaltes und der Form und Größe der der Drüse benachbarten Gewebselemente.

Bei der Weichheit und Empfindlichkeit des embryonalen Gewebes und der ersten Blattanlagen in den Achselknospen und bei der Unmöglichkeit, im Gefriermikrotom genügend dünne Schnitte herzustellen, konnte die Entwicklung der Drüsen nicht so weit rückwärts verfolgt werden, wie bei den in Paraffin eingebetteten Objekten, doch wurden Stadien gesehen, in denen die lysigene Erweiterung eben erst begonnen zu haben schien, da der Oelraum noch dreieckige oder viereckige Gestalt hatte. In diesen jüngsten beobachtbaren Stadien war Oel nur im Drüsenraum, nicht im Epithel vorhanden. In allen Stadien wurde die Wirkung von Alkohol, darauf von Wasser auf die Epithelschichten mit Hilfe des Zeichenokulars genau verfolgt, wobei geringe Kontraktionen, der Plasmolyse im Parenchym vergleichbar, nennenswerte Quellung aber nicht festgestellt werden konnten.

Der Hauptbestandteil des ätherischen Oeles von Ruta graveolens ist das Methylnonylketon[8]. In geringerer Menge ist Methylheptylketon[9] darin enthalten. Ferner wurde ein Gemisch freier Fettsäuren gefunden, in welchem Pelargonsäure[9] von Thoms nachgewiesen werden konnte. Diese Säure entsteht bei der Oxydation des Methylnonylketons. Houben[10] hält das Vorkommen von Caprylsäure für wahrscheinlich.

---

8. v. Gorup-Besanez, Ann. d. Chem. **157** (1871), S. 275.
9. Thoms, Ber. Pharm. Ges. 1901, 3.
10. Houben, Ber. Chem. Ges. **35** (1902), S. 3587.

Die ätherischen Oele der mit Ruta graveolens nahe verwandten Arten R. bracteosa und R. montana besitzen im wesentlichen ähnliche oder fast gleiche Zusammenestzung. Hauptbestandteile sind auch in ihnen die beiden erwähnten Ketone; in geringerer Menge sind vorhanden die den Ketonen entsprechenden sekundären Alkohole, Methylheptylcarbinol und Methylnonylcarbinol, ferner Gemische freier Fettsäuren[11].

Diese Angaben, sowie die Beobachtung, daß junge Früchte, deren Drüsen noch in lebhaftem Wachstum begriffen sind, beim Zerreiben den reinen, lieblichen Geruch der Ketone verbreiten, fast ausgewachsene Früchte aber nebenher sehr unangenehm, etwa nach saurem Schweiß riechen, legten den Gedanken nahe, daß bei der Tätigkeit der Drüsen, bei der Veränderung des Oeles im Laufe des Wachstums, vielleicht auch bei der Bildung des Oeles oxydierende Fermente eine wesentliche Rolle spielen. Zum Nachweis etwa vorhandener Oxydasen wurde die Modifikation A der Reaktion von Schultze[12] benutzt. Sie beruht darauf, daß sich aus α-Naphtholnatrium und Dimethylparaphenylendiamin bei Gegenwart sauerstoffabgebender Stoffe ein blauer Indophenolfarbstoff bildet, der, wofern die betreffenden Gewebeteile eine Affinität zu ihm besitzen, am Orte seiner Bildung festgehalten wird.

1,0 α-Naphthol wurden mit 9,0 Wasser erhitzt und die berechnete zur Lösung eben hinreichende Menge verdünnter Natronlauge zugesetzt.

1,0 Dimethylparaphenylendiaminhydrochlorid wurde in 9,0 Wasser gelöst und mit der berechneten, zum Freimachen der Base nötigen Menge verdünnter Natronlauge versetzt.

Beide Lösungen, kalt gemischt, ergaben eine fast klare, wenig gefärbte, bläuliche Flüssigkeit.

Schnitte aus frischem Material zeigen in dem Reagens fol-

---

11. v. Soden u. Henle, Pharm. Ztg. **46**, 1026; Power u. Lees, Journ. Chem. Soc. **81**, 1585.

12 H. Schultze, M. m. W. 1910, 2171.

gendes Verhalten. Sehr rasch färbt sich dunkelblau die Cuticula, der zentrale Oeltropfen und die Granulationen des Drüsenepithels. Erheblich langsamer färben sich die Chloroplasten auch der durch das Messer verletzten Assimilationszellen, bei denen das Reagens also nicht, wie bei der Drüse, durch Membranen hindurchzu diffundieren braucht. Nach längerer Zeit nehmen die Protoplasten des Gewebes eine hellblaue Färbung an, wobei man den Eindruck gewinnt, daß sie nur den in der Lösung schon gebildeten Farbstoff speichern, ohne ihn in sich zu bilden. Behandlung mit Alkohol allmählich steigender Konzentration löst Reagens, Farbstoff und Oel aus den Schnitten heraus. Ersetzt man dann den Alkohol durch Wasser, dann durch das Reagens, so treten in den ölfreien Schnitten dieselben Färbungen in derselben Weise wieder auf. Die Granulationen des gesamten Drüsenepithels färben sich wiederum erheblich rascher, als die Chloroplasten des Assimilationsgewebes. Allmählich werden die ganzen Schnitte blau und unbrauchbar, da die durch den Alkohol getöteten Zellen den in dem Reagens durch Luftsauerstoff nach und nach entstehenden Farbstoff leichter annehmen.

In allen an frischem Material beobachtbaren Stadien habe ich dieselben Färbungen erhalten.

Der Umstand, daß auch die Cuticula und der Oeltropfen sehr schnell den Farbstoff bildeten, zeigt, daß man aus seinem Auftreten nicht ohne weiteres auf Oxydasen schließen darf. Ist es ja auch bekannt, daß anorganische oxydierende Stoffe, z. B. Kaliumdichromat, die blaue Farbe sofort in dem Reagens hervorrufen. Man darf aber doch wohl sagen, daß in den Drüsengranulationen bei Ruta graveolens leicht Sauerstoff abgebende Stoffe enthalten sind; und da diese eben in dem zur Oelbildung bestimmten Gewebe und an der Stelle sich befinden, an der die Oelbildung erfolgt, so gewinnt die Annahme, daß bei der Oelsynthese ein Oxydationsprozeß eine Rolle spielt, an Wahrscheinlichkeit.

Bezüglich des eigenartigen Entleerungsapparates der Oeldrüsen der Häute und der physiologischen Bedeutung, welche

dem ätherischen Oele wahrscheinlich zukommt, kann ich auf die ausführliche Darstellung Haberlandts[13] verweisen, der in der Entleerung des Sekretes bei unsanfter Berührung eine Schutzeinrichtung gegen größere Tiere erblickt.

Neben den oben erwähnten Bestandteilen des ätherischen Oeles der Raute hat das in den Blättern enthaltene kristallinische Rutin größeres Interesse. 1842 zuerst von Weiss[14] beobachtet, wurde es von Borntraeger[15], Hlasiwetz[16], Zwenger und Dronke[17], Schmidt und Waliaschko[18] näher studiert und als ein Glykosid erkannt, welches sich in Quercetin, Glukose und Rhamnose spalten läßt.

Waliaschko wies außerdem in der Raute ein weißes, in kaltem Alkohol unlösliches Harz und nicht näher bestimmbare Säuren nach, und konnte das Vorkommen kleiner Mengen von Cholin wahrscheinlich machen. Mehrfach wurden endlich dem Cumarin ähnliche Substanzen, bzw. Cumarinderivate beobachtet. Dieser letzte Befund ist nicht ohne Interesse im Hinblick auf die Tatsache, daß wie in anderen Rutaceen auch in der Ruta graveolens und in der nahe verwandten Ruta chalepensis Phenoläther haben nachgewiesen werden können, die als Abkömmlinge von Oxycumarinen zu betrachten sind, womit allerdings nicht gesagt sein soll, daß die Cumarinderivate der oben angeführten Autoren als die Muttersubstanzen der Phenoläther aufzufassen oder gar mit ihnen identisch seien.

Aus dem ätherischen Auszuge der Früchte von Ruta graveolens kristallisiert nach dem Einengen, zunächst stark mit Chlorophyll und anderen Substanzen verunreinigt, ein Stoff aus, der durch Umkristallisieren aus Alkohol gereinigt werden kann.

13. Sitz.-Ber. Akad. d. Wiss. Wien, Math.-naturw. Cl. 107 (1898) und Physiol. Pflanzenanatomie, 3. Aufl. 455.
14. Pharm. Zbl. 1842, S. 903.
15. Ann. Chem. **53**, S. 385.
16. Ann. Chem. **96**, S. 121; Ann. Chem. **112**, S. 96.
17. Ann. Chem. **123**, S. 145.
18. Arch. d. Pharm. **242**, S. 225.

Man löst heiß in genügender Menge Alkohol und beseitigt die nach dem Erkalten ausgefallenen Flocken des weißen Harzes, verdünnt mit etwas Wasser und erwärmt, bis sich der größte Teil des Chlorophylls in großen, dunkelgrünen Tropfen abgeschieden hat. Nach rascher Filtration kristallisiert der Stoff in feinen Nadeln aus, welche nach öfterem Umkristallisieren aus verdünntem Alkohol fast farblos erhalten werden. Der Schmelzpunkt liegt bei 187°. Die Substanz ist identisch mit den seit langem aus den Fruchtschalen von Citrus Bergamia bekannten und neuerdings in den Fruchtschalen von Fagara xanthoxyloides von Thoms[19] gefundenen Bergapten.

Bei der Elementaranalyse ergaben:

0,1595 g Substanz 0,3888 g CO_2 und 0,0546 g H_2O
0,1587 g Substanz 0,3860 g CO_2 und 0,0562 g H_2O

Berechnet für	Gefunden	
Bergapten $C_{12}H_8O_4$	1.	2.
66,64 % C	66,48	66,33
3,73 % H	3,83	3,96

Bei der Methoxylbestimmung nach Zeisel lieferten:

0,1994 g Substanz 0,2092 g AgJ.

Berechnet für 1 —OCH_3 in $C_{12}H_8O_4$	Gefunden
14,35 % —OCH_3	13,86

Bei der Kalischmelze entstand Phloroglucin, nachgewiesen durch die Vanillin-Salzsäure-Reaktion, und endlich ergab die Substanz beim Mischen mit reinem Bergapten vom Schmelzpunkt 189° keine Schmelzpunktsdepression. Der Schmelzpunkt des Gemisches lag bei 188°.

In ganz ähnlicher Weise wurde aus den Früchten von Ruta chalepensis, von denen Herr Dr. M. Brandt eine kleine Menge

19. Ber. Chem. Ges. **44**, S. 3325.

aus Spanien gesandt hatte, Xanthotoxin isoliert. Nur dauerte hier die Abscheidung der ersten Kristalle aus dem konzentrierten ätherischen Auszuge der Früchte erheblich länger. Beim Umkristallisieren wurden leicht Kristallnadeln vom scharfen Schmelzpunkt 145 ° erhalten.

0,1008 g Substanz ergaben 0,2466 g CO_2 un 0,0346 g H_2O.

Berechnet für Xanthotoxin $C_{12}H_8O_4$	Gefunden
66,64 % C	66,72
3,73 % H	3,84

Eine Mischung der Substanz mit etwa gleichviel Bergapten schmolz bei etwa 129 °, eine Mischung mit reinem Xanthotoxin aus Fagara xanthoxyloides zeigte jedoch keine Schmelzpunktserniedrigung.

Es sind somit zwei neue Vorkommen von Phenoläthern innerhalb der Familie der Rutaceen festgestellt und es bietet besonderes Interesse, daß es sich um die beiden Stoffe handelt, die von Thoms[20] in Fagara xanthoxyloides aufgefunden wurden, einer Pflanze, die, wie Ruta selbst, in die Unterfamilie der Rutoideae gehört, und daß das Bergapten, welches früher nur aus der Aurantioidee Citrus Bergamia bekannt war, nun in mehreren Vertretern der Rutoideae nachgewiesen worden ist.

Gerade das Vorkommen gleicher Stoffe in verschiedenen Vertretern desselben pflanzlichen Formenkreises beansprucht insofern erhöhtes Interesse, als es die Frage nahelegt, ob und inwiewit sich darin eine Verwandtschaft der betreffenden Arten dokumentiert.

Wenn man die verwandtschaftlichen Beziehungen, die geographische Verbreitung, die wahrscheinliche Entwicklungsgeschichte eines Formenkreises mit einer Zusammenstellung der in ihm enthaltenen Stoffe vergleicht, so ergeben sich in der Tat

20. Ber. d. D. chem. Ges. 1911, S. 3325 und Arb. a. d. Pharm. Inst., Bd. IX, S. 50 u. X, S. 66.

häufig weitgehende Uebereinstimmungen oder wenigstens sehr auffällige Anklänge. Es sei an das häufige Auftreten in ihrer physiologischen Wirkung sehr ähnlicher Glykoside bei den Apocynaceen, an das Vorkommen von Alkaloiden mit relativ kleinem Molekulargewicht und hohem Stickstoffgehalt in der Gruppe der Genisteae erinnert. Auch die Ueberlegung, daß bei den Wandlungen, welche die Pflanzenarten und Gattungen im Laufe der langen Erdepochen allmählich durchgemacht haben, und die wir eben als Entwicklungsgeschichte zusammenfassen, die Formveränderungen durch eine unter veränderten klimatischen und ökologischen Verhältnissen sich allmählich vollziehende stoffliche Veränderung der Inhaltsbestandteile bedingt und hervorgerufen worden sind, führt zu der Folgerung, daß bei den näher miteinander verwandten Endgliedern fast paralleler Entwicklungsreihen die Unterschiede in der stofflichen Zusammensetzung ziemlich klein, bei den wenig verwandten Endgliedern stark divergierender Entwicklungsreihen jedoch beträchtlicher sein werden, und daß insbesondere bei nahen Verwandten die haupsächlichsten, wesentlichsten Vorgänge des Stoffumsatzes große Aehnlichkeiten werden aufweisen müssen.

Es würde sich somit im chemischen Befunde die Entwicklungsgeschichte eines Formenkreises widerspiegeln, besonders dann, wenn man die lebenswichtigsten Stoffe der Untersuchung unterzöge.

Als eine Bestätigung dieser Ueberlegungen darf man wohl die bisherigen Ergebnisse der serobiologischen Forschungen an pflanzlichen Eiweißstoffen betrachten.

Bei Zugrundelegung rein chemischer Arbeitsmethoden ist die Schlußfolgerung aus den Beobachtungen nicht immer ganz so sicher, wie es nach obigem den Anschein haben könnte, da sich des öfteren gezeigt hat, daß sicher nahe verwandte Pflanzen sich phytochemisch sehr verschieden verhalten. Das bekannteste Beispiel hierfür ist der Unterschied zwischen der bitteren und der süßen Varietät der Mandel. Erstere enthält Amygdalin, ein

Glykosid, und das zu diesem passende Ferment Emulsin, letztere ist von diesen Stoffen frei. Der einen von diesen beiden sehr nahe verwandten Pflanzen fehlt also eine Summe, ein ganzes System von Stoffen, man könte sagen, ein chemischer Apparat, den die andere besitzt.

Auch die oft sehr beträchtlichen Schwankungen im Gehalt an einer bestimmten Substanz, die bei einer und derselben Pflanzenart unter Umständen beobachtet werden, erschweren eine richtige Beurteilung der Sachlage.

Man wird daher mit einiger Sicherheit nur dann von Korrelationen zwischen phylogenetischer Stufenfolge und Chemismus sprechen können, wenn charakteristische Stoffe oder Stoffklassen in einem fest umschriebenen Formenkreise konstant auftreten.

Das ist nun, soweit unsere heutige Erfahrung reicht, innerhalb der Familie der Rutaceen bis zu einem gewissen Grade der Fall. Hierher gehört das Auftreten gewisser Terpene in einer sehr großen Zahl von ätherischen Oelen der Rutaceen, ferner die Verteilung der Alkaloide und der Glykoside innerhalb der Familie.

So besitzen alle bisher untersuchten Xanthoxylum- und Fagara-Arten Alkaloide, die entweder mit dem Berberin identisch sind, oder ihm, wie das Artarin in Fagara xanthoxyloides, und das Homochelidonin in Xanthoxylum brachyacanthum recht nahe stehen. In anderen Gruppen treten konstant Alkaloide von wesentlich anderer Zusammensetzung auf, letzteres z. B. bei den Pilocarpusarten, deren Alkaloide Pilocarpin und Pilosin in ihren Konsitutionsformeln gut erforscht sind.

Die Hesperidinglykoside sind besonders in der Unterfamilie der Aurantioideae verbreitet.

Hervorragendes Interesse beanspruchen auch die Erscheinungen, daß in isolierten Gruppen der Familie Stoffe konstant zur Ausbildung gelangt sind, die anderen Gruppen fehlen. Es gehört dahin z. B. das Auftreten von Amyrin, einem phytosterinartigen Alkohol, und Santalol in den Amyrisarten, sowie das

Vorkommen des eigenartigen Phenols, des Diosphenols in den isoliert stehenden südafrikanischen Barosmaarten.

Phenoläther kommen in vielen Gruppen der Rutaceen vor. Sowohl in den Rutoideae, wie in den Aurantioideae sind sie gefunden worden, und auch aus Chloroxylon swietenia, Flindersioideae, ist ein Stoff $C_{14}H_{12}O_3$ bekannt geworden, welcher eine Aetherbindung und einen Laktonring enthält, der sich bei genauerer Untersuchung vielleicht als Phenoläther erweisen wird.

Die bisher aufgefundenen Phenoläther leiten sich sowohl von einwertigen, wie von mehrwertigen Phenolen ab.

Das Methylchavicol, das sehr reichlich in der Aurantioideae Clausena anisum olens angetroffen wird, kommt in Begleitung des zugehörigen Phenols, des Chavicols, auch in Barosma venusta (Rutoideae, Diosmeae) vor. Ein zweiwertiges Phenol liegt dem Methyleugenol aus Xanthoxylum aubertia und Evodia simplex zugrunde, beides Pflanzen aus der Gruppe der Rutoideae Xanthoxyleae. In den meisten Fällen handelt es sich um dreiwertige Phenole, und zwar teils um solche mit vizinaler, teils mit symmetrischer Stellung der Sauerstoffatome. Der erstere Fall liegt vor bei dem Xanthotoxin, das bisher in Fagara xanthoxyloides und in Ruta chalepensis gefunden wurde, der letztere bei Bergapten, das in Fagara xanthoxyloides, Ruta graveolens und Citrus Bergamia enthalten ist, ferner bei Citropten, das in Citrus Limonum und Citrus Limetta, endlich bei dem Phloracetophenondimethyläther, der in Xanthoxylum alatum und X. aubertia nachgewiesen wurde.

Die bisher bekannt gewordenen Phenoläther in den Rutaceen sind also, ebenso wie die zugehörigen Phenole, ziemlich verschiedenartig, und deshalb fordern so überraschende wiederholte Vorkommen in verschiedenartigen Gruppen, wie sie beim Bergapten beobachtet wurden, besonderes Interesse heraus. Weitere phytochemische Studien, die sich nicht zuletzt auch auf die isoliert stehenden Gruppen der Familie, z. B. auf die australischen Arten, erstrecken müßten, über die wir bisher nur

sehr lückenhaft orientiert sind, würden nicht nur eine Klärung der Korrelationen zwischen den Verwandtschaftsbeziehungen der Pflanzen einerseits und ihren Inhaltsbestandteilen andererseits erwarten lassen, sondern auch geeignet sein, die Frage nach der physiologischen Bedeutung dieser Stoffe aufzuhellen.

Vorstehende Arbeit wurde im Pharmazeutischen Institut der Universität Berlin ausgeführt.

Es ist mir Bedürfnis, meinen verehrten Lehrern, Herrn Prof. Dr. H. Thoms und Herrn Prof. Dr. E. Gilg für die Anregung zu dieser Arbeit und für die mir bei ihrer Ausführung erteilten Ratschläge meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich, Andreas Wilhelm Heinrich Brandt, lutherischer Konfession, lübeckischer Staatsangehörigkeit, wurde am 31. März 1879 zu Seckenheim in Baden als Sohn des Betriebsleiters der chemischen Fabrik Rheinau, Apotheker Dr. Carl Brandt, geboren. Ich besuchte die Volksschulen zu Rothenfelde bei Osnabrück und Schalke bei Gelsenkirchen, die Realgymnasien zu Schalke und Elberfeld. Letzteres verließ ich Ostern 1898 mit dem Zeugnis der Reife. Die Apothekerlehrzeit verbrachte ich in Barmen bei Herrn Dr. Stood; ich bestand Ostern 1900 in Düsseldorf die pharmazeutische Vorprüfung, konditionierte bis Oktober 1901 in Elberfeld bei meinem Vater, bis April 1903 in Stettin bei Herrn Medizinalassessor Jonas, studierte dann in Berlin und bestand hier Michaelis 1904 das pharmazeutische Staatsexamen. Schwere Erkrankung meines Vaters rief mich nach Elberfeld zur Verwaltung der väterlichen Apotheke zurück, die ich nach meines Vaters Tode bis Oktober 1911 weiterführte. Von Michaelis 1911 bis Michaelis 1913 studierte ich in Berlin zwecks Erlangung der Doktorwürde weiter. Jetzt bin ich im Pharmazeutischen Institut der Universität Berlin angestellt.

Während meiner Studienzeit habe ich bei folgenden Herren Dozenten und Professoren Vorlesungen gehört: Busse, Dessoir, Engler, Gilg, Haberlandt, Lenz, Rubens, Thoms, Traube, Warburg.

Die Promotionsprüfung bestand ich am 5. November 1914.